ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

УДК 621.771.073.8

Капланов В.И.[1], Петренко А.С.[2]

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОФИЛИРОВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ КАК СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПРОКАТА

Рассмотрен характерный ряд факторов влияющих на износостойкость прокатных валков, освещены причины возникновения поперечной разнотолщинности, проведен анализ решения задач по совершенствованию и оптимизации существующих профилировок прокатных валков.
Ключевые слова: *разнотолщинность, неравномерный износ, CVC технология, прокатные валки, непрерывно изменяемая кривизна.*

Капланов В І., Петренко О.С. Існуючі профілювання прокатних валків як спосіб ефективного управління точністю поперечного профілю прокату. *Розглянуто характерний ряд факторів, що впливають на зносостійкість прокатних валків, висвітлено причини виникнення поперечної різнотовщинності, проведено аналіз вирішення завдань, щодо вдосконалення та оптимізації існуючих профіліровок прокатних валків.*
Ключові слова*: різнотовщинність, нерівномірне зношення, CVC технологія, прокатні валки, безперервно змінювана кривизна.*

V.I. Kaplanov, O.S. Petrenko. The existing profiling of rolling mill rolls as a method of effective control over precision of transverse profile of rolled stock. *Considered were some typical factors, which influence wear resistance of mill rolls, described were the reasons of origination of transverse non--uniform difference in thickness and the analysis of problems solutions was carried out, regarding perfection and optimization of the existing profiles of mill rollst.*
Keywords: *non-uniform thickness, a spotty wear, CVC production engineering, rolls, continuously variable crown.*

Постановка проблемы. Выбор оптимального профилирования прокатных валков является одним из важнейших технико-экономических показателей работы прокатных цехов наряду с профилированием валков, стоит первостепенная задача повышения их эксплуатационной стойкости. Опыт проведения исследований на крупнейших предприятиях стран СНГ, США, Китая, Японии направлен на увеличение службы такого рабочего инструмента, как прокатные валки. Основной задачей проведенных исследований было решение проблемы соотношения тепловой выпуклости валков с их первоначальной профилировкой на станах НШПС.

Анализ последних исследований и публикаций. Увеличение эксплуатационной стойкости прокатных валков, их оптимальное профилирование традиционно является одной из важнейших проблем решаемых учеными-прокатчиками. Теоретические основы изучения представленных вопросов изложены в работах ряда отечественных и зарубежных ученых – А.В. Третьяковым, В.А. Николаевым, Ю.В. Коноваловым, А.А. Будаквой, Л.И. Боровиком, V.B. Ginzburg, R. Ballas и многими другими.

Цель статьи – определение возникновения локальной выработки рабочих валков в условиях ТЛС-3000 ПАО "ММК им. Ильича", освещение динамики решения проблем связанных с профилированием прокатных валков.

Изложение основного материала. На современном этапе развития прокатного произ-

[1] *д-р. техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г.Мариуполь*
2 аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г.Мариуполь

водства, наряду с увеличением производительности прокатного оборудования, повышаются требования, предъявляемые к качеству прокатываемого металла. Снижение геометрической неоднородности как по длине проката, так и достижение равномерного поперечного профиля, является первостепенной задачей в условиях сужения допусков по геометрии проката.

Увеличение объемов производства толстолистовых станов сопряжено с увеличением массы заготовки, и как следствие, с применением повышенных обжатий. Удлинение раскатов, вызванное прокаткой более крупных слябов, приводит к росту продольной разнотолщинности.

К основным составляющим продольной разнотолщинности в работе [1] авторы относят:

1. δ_{h_t} - разнотолщинность, вызванная перепадом температуры по длине раската (температурный клин).
2. δ_{h_n} и $\delta_{h_з}$ - разнотолщинность на переднем и заднем концах раската, вызванная нестационарными скоростными условиями прокатки.
3. δ_{h_c} - разнотолщинность, образующаяся в следствии местного охлаждения металла из – за контакта сляба с глиссажными трубами.

Для количественной оценки поперечной разнотолщинности была получена формула (1) [2]:

$$\delta_c = \frac{1}{B}\int_0^B |h_c - h_x| d_x , \qquad (1)$$

где B – ширина полосы;

$h_c = \frac{1}{B}\int_0^B h_x d_x$ - средняя толщина профиля полосы;

h_x - переменная по ширине толщина профиля полосы.

В основу нахождения величины поперечной разнотолщинности положено равенство вытяжек по ширине.

К одной из результирующих функции изменения поперечной разнотолщинности следует отнести неравномерный износ активного слоя по всей длине бочки валка.

На преждевременный, неравномерный износ активного слоя рабочих валков оказывают следующие факторы.

Изменение сортамента, прокатываемого на станах. Согласно технологии, прокатку следует вести, начиная с тонких и широких полос, заканчивая компанию валков толстыми и узкими полосами. В действительности картина выглядит несколько иначе. Прокатные цеха неоднократно меняют прокатываемый сортамент за компанию валков, что ведет к росту поперечной разнотолщинности.

При переходе от узких полос к прокатке широких металл удерживается на оси прокатки, которая проходит через вершину параболы (при вогнутой профилировке валков, являющейся наиболее популярной применительно к листопрокатным станам).

На снятых профилограммах видно образование специфической выработки, повторяющей ширину прокатываемых полос, рис.1.

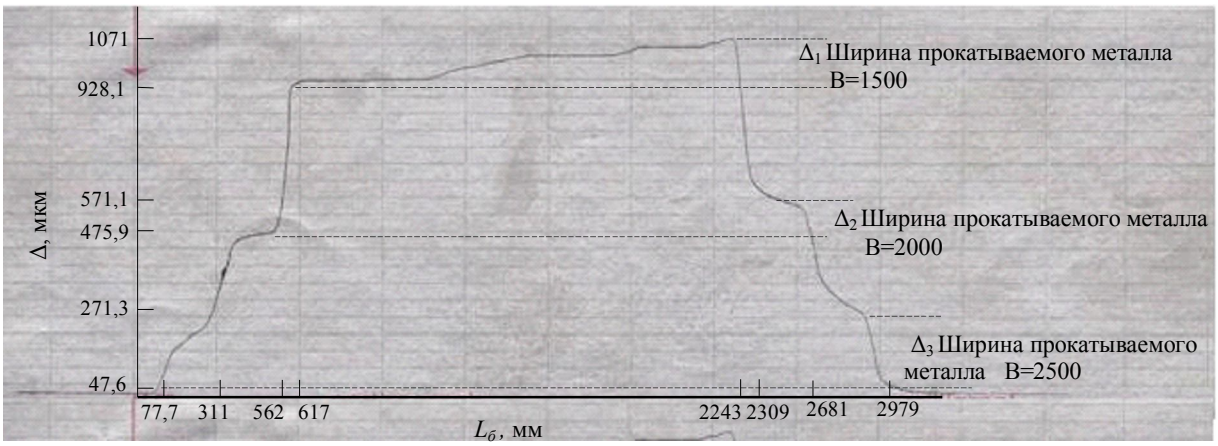

Рис.1 - Профилограмма верхнего рабочего валка ТЛС - 3000

При переходе на более широкий сортамент прокатываемых полос изменится поперечный профиль проката, средняя часть которого стремится к увеличению по сравнению с кромками, появляется рост поперечной разнотолщинности, что в свою очередь повышает металлоемкость профиля. Авторы работы [3] предлагают находить по следующей формуле (2):

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\delta_{\max}}{2h_H}, \qquad (2)$$

где ΔF - площадь образующая выпуклость профиля;

F - номинальная площадь сечения;

$\delta_{\max} = h_{cp} - h_k$ - максимальная разнотолщинность готового листа, равная разности толщин середины и кромки листа, мм; h_H - номинальная толщина полосы, мм.

Неравномерность прогрева раската по ширине является одной из основных причин, вызывающих появление зон местной выработки. При рассмотрении неравномерности распределения температуры по ширине раската за пример взят толстолистовой стан 3000 ПАО «ММК им.Ильича».

Температурный градиент, направленный по ширине раската объясняется недостаточным прогревом одной из сторон заготовки, находящейся возле окна выдачи из семизонной печи с шагающими балками. При прокатке в черновой клети, в соответствии с технологией производства, после двух проходов (нечетный, четный) делают разбивку ширины раската путем кантовки на 90º против часовой стрелки. После разбивки ширины делается повторная кантовка на 90º против часовой стрелки. В результате кантовок сторона заготовки находящаяся у окна выдачи печи, имеющая менее прогретую структуру металла, меняет свое расположение, становясь при этом с приводной стороны чистовой клети.

При исследовании рабочих валков чистовой клети обнаруживается локальный износ бочки рабочих валков с приводной стороны, что в свою очередь позволяет сделать вывод о природе появления данной особенности износа. Описываемая особенность износа изображена на рис.1.

Абразивный износ также является одним из распространенных видов износа. При прокатке скорость выхода полосы из валков и скорость вращения валков в большинстве случаев не совпадают; в результате наблюдается скольжение между прокатываемой полосой и валками, вызывающее износ.

Поверхность рабочих валков реверсивных станов изнашивается быстрее, чем валков непрерывных станов, что объясняется, с одной стороны, применением больших обжатий, с другой стороны большей массой металла, приходящейся на валки за компанию[3].

Повышенная выработка по краям бочки является результатом взаимодействия острых кромок полосы с поверхностью бочки валка. Данное утверждение частично верно и может быть дополнено несоответствием формы кривых прогиба и тепловой составляющей профиля. Необходимо заметить, что указанная закономерность свидетельствует о неравномерности межвалковых давлений, распределение которых не может быть изменено путем применения устройств гидроизгиба валков. Подходы к методам профилирования прокатных валков разнообразны, динамическое и статическое регулирование активной образующей выражается двояко. С одной стороны, под нагрузкой систем изгиба валков, увеличивается значение стрелы прогиба рабочего валка, возрастают силы, действующие на шейки валков, изменяется схема распределения межвалковых давлений силы прокатки на валки по всей длине бочки. С другой стороны, воздействие систем принудительного изгиба валков носит положительный характер, что выражается в уменьшении параболы при вогнутом способе профилирования прокатных валков, что влечет к снижению переточек валков в вальцешлифовальных мастерских, а как следствие достигается экономия рабочего (отбеленного) слоя рабочих валков.

В качестве динамического регулирования межвалкового зазора в процессе прокатки на ряде, как зарубежных станов, так и отечественных нашла применение система CVC (Continuously Variable Crown – непрерывно – изменяемая кривизна) со встречным смещением рабочих или промежуточных валков.

Система CVC была разработана фирмой «SMS Schloeman – Siemag AG» (Шлёменн – Зимаг), суть которой состоит в изменении расположениия относительно горизонтальной плоскос-

ти прокатных валков, профилировки которых, как верхнего, так и нижнего рабочих валков, выполняются одинаковыми S – образными (близкими к синусоидальным), но развернутыми по отношению друг к другу на 180º. Это позволяет получить симметричный профиль межвалкового зазора, по сравнению со стандартными профилировками. CVC профилирование более эффективно вследствие большей проработки поверхности раската за проход, рис.2.

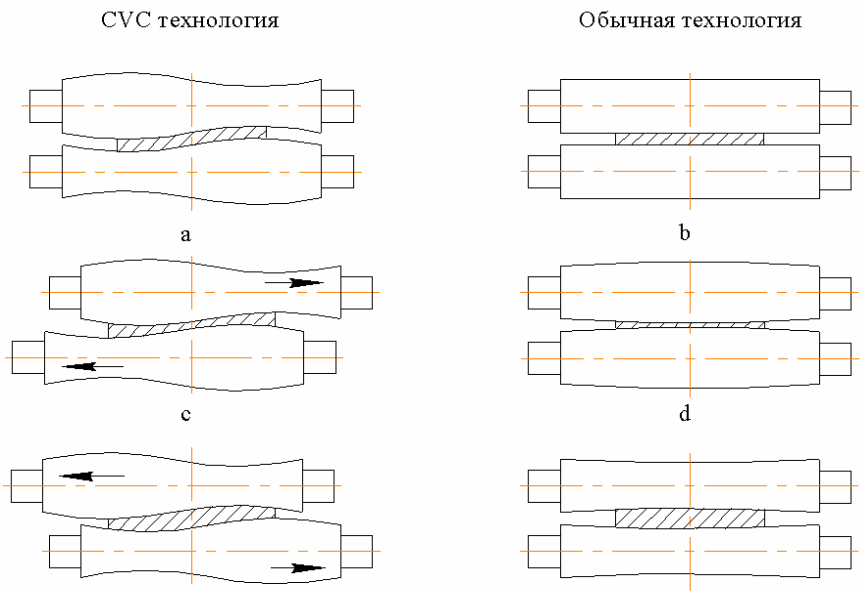

Рис.2 - Непрерывно изменяемая кривизна (CVC) и обычные контуры раствора валков

При сдвижении верхнего рабочего валка в правую сторону, а нижнего - на аналогичную величину влево (рис. 2,c), расстояние между контурами валков в центральной части, становится значительно меньше, по сравнению с расстоянием раствора валков на краях бочки. Такое смещение оказало бы одинаковое влияние на профиль полосы, как и использование рабочих валков с выпуклой формой профилировки (рис. 2, d).

Если верхний рабочий валок смещен влево, а нижний рабочий валок смещен на такую же величину на право (рис. 2, e), расстояние между их контурами в центральной части становится больше по сравнению с расстоянием раствора валков на краях. Такое смещение оказало бы одинаковый результат на профиль полосы, как и при вогнутой профилировке валков (рис. 2, f).

S – образная форма рабочих валков, развернутых относительно друг друга на 180º, естественно произвела бы разность в диаметрах по всей длине бочки валка, которая обычно находится в пределах между 0,3 и 0,8 мм, что влечет разность в окружной скорости валков от 0,05 к 4% с низкими величинами, соответствующими меньшему диаметру валка [4]. Однако такая разность в скорости является незначительной по сравнению с разностью скорости в зоне опережения, в зависимости от снижения скорости за один проход, и может составлять 5 – 40%.

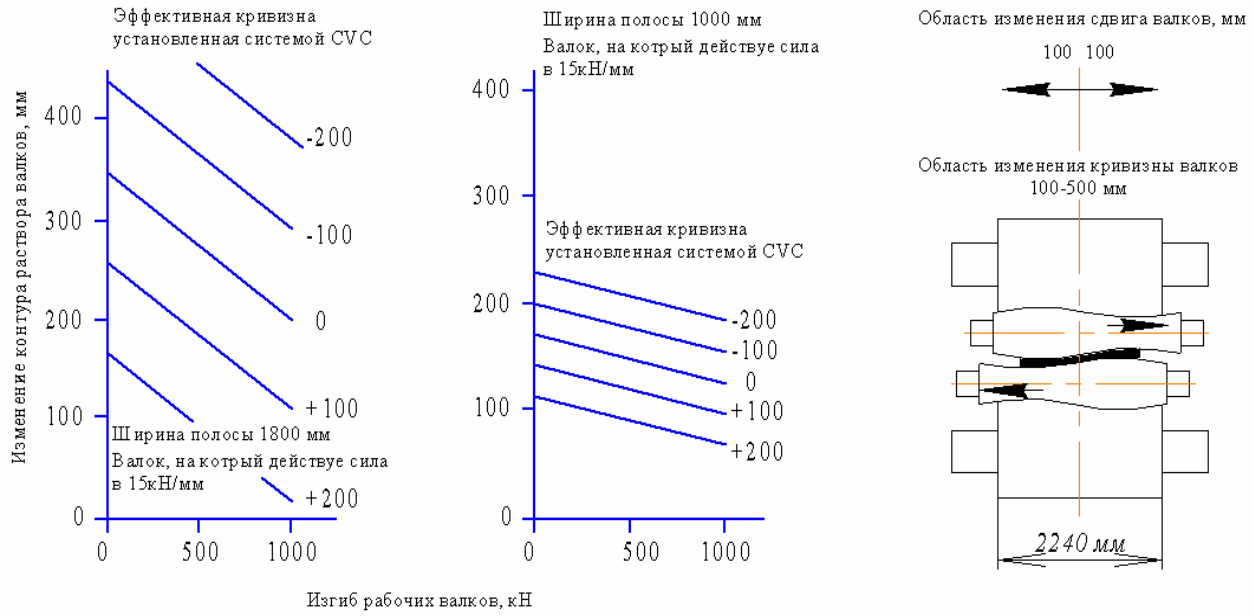

Рис.3 - Диапазон регулирования CVC системы с изгибом рабочего валка

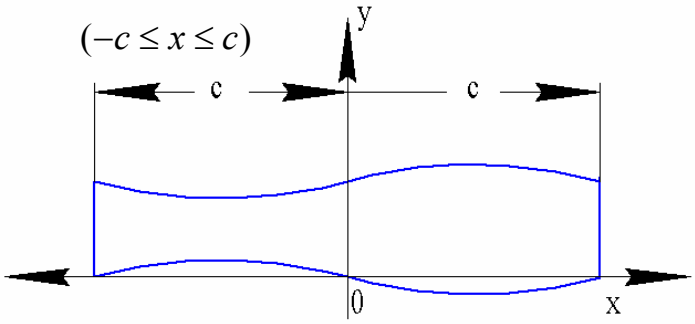

Рис.4 - Контур CVC валка[4]

Как правило, осевое смещение CVC валков ±100 мм оказывает результат, который был бы возможен, при изменении традиционной кривизны валка от 100 до 500 мм, как показано на рис. 3 [4].

Чтобы достигнуть такой функциональности, необходимая разница в радиусе валков, должна составлять не более 273 мм, которая позволяет достигать максимальную разницу 0,076% между окружной скоростью верхнего и нижнего валков.

Профиль валков описан полиномом пятого порядка, рис. 4

$$y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 , \qquad (3)$$

где $a_1, a_2, a_3 \ldots . a_m$ - постоянные полинома;

x - расстояние от центра валка.

Вышеупомянутое уравнение описывает бутылочнообразный профиль, с профилировочной выпуклостью с одной стороны и вогнутостью с другой. Сдвиг CVC валков, которые имеют профиль полинома пятого порядка, образует эквивалентный профиль рабочего валка у описанный полиномом, содержащим компоненты второго и четвертого порядка:

$$c = b_2 x^2 + b_4 x^4 , \quad \text{при} \quad (-c \le x \le c) , \qquad (4)$$

где c - половина длины бочки валка;

b_2, b_4 - полиномиальные константы, являющиеся функциями хода смещения валка.

Выводы

Система CVC – это эффективный метод контроля плоскостности и профилирования полосы. Анализ CVC валков показал, что эквивалентная выпуклость – это линейная функция изменяющегося расстояния между валками. Разработка новых рациональных способов профилирования прокатных валков положительно влияет на энергосиловые условия работы прокатных станов.

Список использованных источников:

1. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П.И. Полухин, В.А. Николаев, В.П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
2. Капланов, В.И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива: монография / В.И. Капланов. – Мариуполь: Изд-во «Рената», 2008. – 456 с.
3. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будаква, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. – К.: Техніка, 1986. – 190 с.
4. Ginzburg V.B., Ballas R./Flat rolling fundamentals – New York: Manufacturing engineering and materials processing, 2000.

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.11.2010